

Helsingiläisten asuntojen ilmanvaihto-ongelmista

Ikäheimo M

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	1
Tiivistelmä	3
1. Johdanto.....	4
2. Asuntojen ilmanvaihdon teoriaa.....	5
2.1. Asuntojen ilmanvaihdon toimivuuden perusvaatimuksia	5
2.1.1. Korvausilma	5
2.1.2. Korvausilmaratkaisut	5
2.1.3. Poistoilmaventtiilit.....	7
2.1.4. Ilmansuureitit	7
2.2. Eri ilmanvaihtoratkaisujen ominaisuuksia	8
2.2.1. Painovoimainen ilmanvaihto	8
2.2.2. Koneellinen poistoilmanvaihto.....	8
2.2.3. Huoneistokohtainen tehonsäätö koneellisen poiston järjestelmissä	8
2.2.4. Koneellinen tulo ja poisto	9
3. Aineisto ja menetelmät.....	10
3.1. Painovoimaisen ilmanvaihdon kohteet.....	10
3.2. Koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteet.....	10
3.3. Huoneistokohtaisen tehonsäädön kohteet.....	13
3.4. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteet.....	13
3.5. Mittausmenetelmät	14
4. Tulokset.....	15
4.1. Painovoimaiset ilmanvaihtojärjestelmät	15
4.2. Koneelliset poistoilmajärjestelmät	16
4.2.1. Tunkkaisuusongelmat	18
4.2.2. Hajuongelmat	19
4.2.3. Riittämätön korvausilma	20
4.2.4. Muut sisäilmaongelmat koneellisen poiston asunnoissa.....	22
4.2.5. Muut kohteet.....	23
4.3. Huoneistokohtainen tehonsäätö koneellisen poiston asunnoissa	23
4.4. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	26
5. Yhteenveto	29
5.1. Painovoimainen ilmanvaihto.....	29
5.2. Koneellisen poistoilmajärjestelmä	29
5.3. Huoneistokohtainen säätö.....	30
5.4. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmä	30
5.5. Ilmanvaihdon merkitys sisäilmaongelmissa	30
6. Projektin yhteydessä tutkittuja erilliskysymyksiä	31
6.1. Ilmanvaihdon mittausmenetelmien vertailua.....	31
6.1.1. Mittaus anemometritorven avulla	31
6.1.2. Paine-eromenetelmä	32
6.1.3. Mittausten keskinäinen vastaavuus	33
6.1.4. Menetelmien käytettävyys.....	34
Lähteet.....	35

Liitteet

Liite 1. Koneellisen poiston kohteiden kokonaisilmamäärät

Liite 2. Kokonaispoistoilmamäärät ja ilmanvaihtokertoimet koneellisen poiston kohteissa, joissa oli huoneistokohtainen tehonsäätö

Liite 3. Koneellisen tulon ja poiston kohteiden kokonaisilmamäärät ja ilmanvaihtokertoimet

Tiivistelmä

Tutkimusta varten valittiin kohteet Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen asuin ympäristövalvonnan käsittelyyn ottamista asunnoista, joissa asukkaat oireilunsa vuoksi tai muusta syystä epäilivät sisäilmaongelmaa. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, miten monessa kohteessa ilmanvaihtojärjestelmä toimi puutteellisesti. Pyrkimyksenä oli myös arvioida, miten monessa kohteessa pelkästään ilmanvaihdon korjaustoimenpiteillä voitaisiin sisäilmaongelma ratkaista.

Tutkimukseen otettiin mukaan yhdeksän painovoimaisen, 31 koneellisen poiston sekä kuusi koneellisen tulo- ja poistoilman kohdetta. Koneellisen poistojärjestelmän erityistapauksena tutkittiin lisäksi kymmenen sellaista kohdetta, joissa asukkailla oli itse mahdollisuus säätää poistoilmanvaihdon tehoa. Mittaukset tehtiin kesän 2002 aikana.

Painovoimaisen ilmanvaihdon kohteiden suurimmaksi ongelmien aiheuttajaksi todettiin myöhemmin tehdyt remonttitoimenpiteet. Asunto oli saatettu peruskorjata painovoimaisen järjestelmän toimivuuden kannalta liian tiiviiksi ja samalla oli jätetty huolehtimatta tuloilman riittävästä saannista.

Koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksissa eniten ongelmia aiheutti riittämättömän korvausilman saanti. Joissakin tapauksissa myös poistoilmajärjestelmä oli alitehoinen, mutta suurimmassa osassa tuloilman saanti oli puutteellista.

Niissä kohteissa, joissa koneellisen poiston tehoa voitiin säätää huoneistokohtaisesti, suurin osa ongelmista johtui liian vähäisestä korvausilman saannista. Huoneistokohtaisesti säädettävää poistoa pidettiin joissakin tapauksissa ilman vaihtuvuuden kannalta liian pienellä teholla joko sähkönsäästön vuoksi tai siksi, että suuremmat tehoasetukset aiheuttivat meluongelmia asuntoon.

Koneellisen tulo- ja poistojärjestelmän asunnoissa eniten ongelmia aiheutti tulo- ja poistoilmavirtojen epätasapaino.

Tutkituista kohteista suurimmassa osassa todettiin ilmanvaihdon puutteellisen toiminnan vaikuttavan ainakin osittain sisäilmaongelmien esiintymiseen.

1. Johdanto

Hyvin toimiva ilmanvaihto on kokonaisprosessi, jossa riittävällä tilavuusvirralla oikeisiin paikkoihin asunnossa tuotu korvausilma huoneesta toiseen siirtyessään poistaa samalla asuntoon syntyneet ilman epäpuhtaudet. Likaantunut ilma poistuu oikein sijoitettujen poistoilmaventtiilien kautta, joiden poistoilmavirrat on säädetty ottaen huomioon kunkin tilan erityistarpeet. Minkä tahansa tämän kokonaisprosessin osuuden virheellinen toiminta aiheuttaa ongelmia koko järjestelmän toiminnassa.

Ilmanvaihtojärjestelmiä on kolmea perustyyppiä. Yksinkertaisimmassa painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ei ole lainkaan koneellisia puhaltimia, vaan järjestelmän toiminta perustuu ulko- ja sisätilojen väliseen paine-eroon. Koneellisen poiston ilmanvaihtojärjestelmässä korvausilma tulee painovoimaisen tapaan suoraan asunnon rakenteisiin asennettujen korvausilmaventtiilien kautta, mutta poistoilmaa varten järjestelmään on asennettu puhaltimet. Koneellisen tulon ja poiston järjestelmissä myös tuloilmaa varten on omat puhaltimet.

Ilmanvaihtojärjestelmien puutteet ja virhetoiminnot saattavat olla suoranaisesti sisäilmaongelmien esiintymisen taustalla. Esimerkiksi puutteellisesti järjestetty korvausilman saanti saattaa aiheuttaa tunkkaisuutta, kun poistoilmajärjestelmän vaatima ilmamäärä tulee rakenteiden lävitse. Ilmanvaihdon ongelmat saattavat myös osaltaan pahentaa muiden sisäilman ongelmien vaikutusta. Vähäisenkin materiaalipäästön aiheuttamat ongelmat voivat pahentua, mikäli ilmanvaihtojärjestelmä ei laimenna asuintilaan vapautuneita yhdisteitä.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten suuressa osassa Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen käsittelyyn ottamissa sisäilmavalituksissa ilmanvaihdon puutteellisella toiminnalla on osuus ongelmien ilmenemiseen. Tavoitteena oli myös selvittää, miten monessa ongelmakohteessa pelkästään ilmanvaihdon parantamisella saataisiin sisäilmaongelma ratkaistua.

Mittauksien yhteydessä selvitettiin myös kahden ilmanvaihdon mittaussuomen soveltuvuutta ympäristöntarkastajien kenttämittauksiin.

2. Asuntojen ilmanvaihdon teoriaa

2.1. Asuntojen ilmanvaihdon toimivuuden perusvaatimuksia

2.1.1. Korvausilma

Määrältään riittävän, raikkaan tuloilman saanti on toimivan ilmanvaihtojärjestelmän ehdottomia perusvaatimuksia. Vielä vuonna 1986 Teknillisen korkeakoulun LVI-laboratorion kauppa- ja teollisuusministeriön energiaosastolle laatimassa raportissa käsiteltiin vallitsevana tilanteena käytäntöä, jossa koneellisenkin poiston rakennuksissa korvausilmaventtiilien käytöstä oli luovuttu. Näissä rakennuksissa ilmanvaihdon korvausilma saatiin pelkästään rakennuksen vuotokohtien kautta. (Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio, 1986)

Korvausilmaventtiileistä luopumisen kanssa samoihin aikoihin rakennusvai-
pasta ryhdyttiin tekemään energian säästön nimissä niin tiivistä kuin mahdollista. Erikoisesti ikkunarakenteet tiivistettiin täysin ilmaa läpäisemättömiksi, jolloin tukittiin perinteinen asunnon korvausilman reitti.

Mikäli tuloilmaventtiilit eivät tuo asuntoon riittävästi korvausilmaa poistoilma-
järjestelmän tarpeisiin (tai venttiilit puuttuvat täysin), järjestelmä ottaa korvausilmansa jotakin muuta kautta. Voimakkaasti alipaineisissa asunnoissa ulkovi on yksi tavallisista tuloilmareiteistä. Tuloilmaa saattaa tulla myös asunnon rakenteissa olevien rakojen tai huoneistojen välisten läpivientien kautta.

Hallitsemattomasti asuntoon tuleva korvausilma saattaa aiheuttaa sisäilman tunkkaisuutta. Voimakas alipaine saattaa vetää naapurihuoneistosta ruuankäryjä tai tupakansavua. Asuntoon voi kulkeutua myös radonia alapohjan rako-
jen kautta. Hallitsemattomassa korvausilman saannissa ei voida myöskään ottaa huomioon eri tilojen erityistarpeita. Tällöin tyypillisesti makuuhuoneeseen ei saada riittävästi raitista ilmaa, vaikka kyseisessä tilassa vietetään pisin yhtäjaksoinen osuus asunnossa oleskeluajasta.

2.1.2. Korvausilmaratkaisut

Ennen 1990-lukua rakennetuissa asunnoissa on korvausilman minimisaannin turvaamiseksi yleisesti poistettu ikkunan yläpuolisesta ikkunapuitteesta noin 30 senttimetrin osuus tiivisteestä. Laskennallisesti tällaisen rakennuksen tuloilmavirraksi on arvioitu rakokorkeudella 5 mm ja tuloilman nopeudella 2 m/s 3 l/s ikkunaa kohti. (Palonen ym. 2000). Myös ikkunarakenne vaikuttaa merkittävästi tiivistepoiston toimivuuteen tuloilmaratkaisuna: liian tiivis ulkoikkuna ei päästä tarpeeksi tuloilmaa lävitse.

Tiivisteiden poistaminen korvausilmaratkaisuna on erittäin vaikea toteuttaa hallitusti. VTT on tutkinut samalla periaatteella toimivia tuloilmaikkunoita. Tutkimuksessa todettiin puiterakojen mitoittamisen olevan ongelmallista. Rako-
jen välilyksen mittaustarkkuudeksi arvioitiin 0,5 mm, joka tutkimusoloissa aiheutti

viiden millin rakovälyksellä 20 prosentin epätarkkuuden ilmavirtoihin. (Luoma ja Siitonen 1989)

Rakenteellisesti yksinkertaisin varsinainen korvausilmaventtiili on yleensä k-kunarakenteisiin asennettava rakoventtiili. Rakoventtiilissä ongelmia aiheuttaa usein sen asentaminen niin, että ilmavirran heittokuvio suuntautuu suoraan oleskeluvyöhykkeelle aiheuttaen vedon tunnetta. Mekaanisella säädöllä varustettu venttiilimalli jää helposti talven jälkeen kiinni. Rakoventtiili jää helposti myös verhojen ja verholautojen peittämäksi. (Kurnitski ym. 2000)

Koneellisen poiston järjestelmissä korvausilmaventtiili voidaan asentaa myös seinärakenteeseen. Jälkiasennuksena seinäventtiilin asentaminen on rakoventtiilin asentamiseen verrattuna raskaampi toimenpide. Seinäventtiiliin on rakoventtiiliä helpompi asentaa erilaisia tuloilman suodattimia ja äänen- vaimennusosia. Markkinoilla on myös seinäventtiilimalleja, jotka säätävät tuloilman määrää termostaatin avulla. Myös seinään asennettavat venttiilimallit aiheuttavat usein vetoisuusongelmia.

Vuonna 2000 markkinoilla olleiden rakomaisten korvausilmaventtiilien teknisten tietojen perusteella ikkunarakenteeseen asennettu rakomainen korvausilmaventtiili voi tuoda huonetilaan vedottomasti korkeintaan 6-7 litraa ilmaa sekunnissa. Lautasmallisella venttiilillä vastaava maksimiarvo on 8 litraa sekunnissa. (Palonen ym. 2000)

Käytännössä parhaat mahdollisuudet hyvälaatuisen korvausilman hallittuun saantiin tarjoaa koneellinen tuloilmajärjestelmä. Tuloilmalaitteisiin on mahdollista asentaa tehokkaat suodatinjärjestelmät, ja poistoilman lämpöenergiaa voidaan käyttää tuloilman lämmitykseen, jolloin vetoisuusongelmat vähenevät huomattavasti. Koneellisen tuloilmajärjestelmän tuloilmaventtiilit voidaan asentaa ja säätää paikallisten tarpeiden mukaisesti.

Suurin rakenteellinen ongelma koneellisessa tuloilmajärjestelmässä syntyy pitkistä tuloilmakanavista, joihin saattaa ajan myötä kertyä epäpuhtauksia, erityisesti jos tuloilman suodatusaste on heikko. Tämä puolestaan saattaa aiheuttaa tunkkaisuutta sisäilmassa. Uusien rakennusten tuloilmakanavat voivat myös olla likaiset rakennustyön jäljiltä, ellei niitä ole tehtaalla etukäteen tulpattu tai puhdistettu rakennustyömaalla ennen rakennuksen käyttöönottoa. Omat ongelmansa syntyvät myös rakennekanavista, joissa rakennusten betonisia ontelolaattoja on käytetty osana tuloilmakanavistoa. Tämän ratkaisun puhdistaminen on erittäin vaikeaa, minkä lisäksi betonista ajan mittaan irtoava pöly aiheuttaa omia ongelmiaan kulkeutuessaan sisätiloihin. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ilmanvirtojen tasapainottaminen on myös tärkeää alija ylipaineisuusongelmien välttämiseksi.

2.1.3. Poistoilmaventtiilit

Asunnon ilmanvaihdon toimivuuden kannalta poistoilmaventtiilien kunnolla on suuri merkitys. Toimivan poistoilmaventtiilin on oltava puhdas ja hyvässä kunnossa.

Poistoilmaventtiilien pyyhkiminen päältä saattaa antaa vaikutelman puhtautesta, vaikka venttiili olisikin sisältä lähes tukossa. Yleisimmän lautasmallisen poistoilmaventtiilin puhdistuksessa käytännössä ainoa tapa on irrottaa koko venttiili poistoilmakanavan suulta. Vaikka ilmanvaihtokanavien puhdistaminen kuuluukin asunto-osakeyhtiölain mukaan yhtiön vastuulle, kannattaa asukkaahan venttiilien puhdistuksen yhteydessä tarkistaa kanavan suuosan puhtaus. Poistoilmakanavien suut on joskus vuorattu lasivillalla ilmavirran aiheuttaman melun torjumiseksi ja riittävän ääneneristävyyden saavuttamiseksi. Tämä vuoraus saattaa ajan mittaan irrota ja tukkia kanavan osittain. Mikäli liesikuvun rasvasuodattimen pesu unohtuu pitkäksi aikaa, pahimmassa tapauksessa suodatin saattaa tukkiutua lähes kokonaan.

Asukkailla on usein mahdollisuus päästä itse säätämään koneellisen poistojärjestelmän poistoventtiilien asentoja. Erityisesti lautasmallisia venttiilejä on usein kiusaus aukaista poistoilman virtauksen tehostamiseksi. Paikallisesti ilmavirtaus saattaa lisääntyä, mutta yhden venttiilin ilmavirtojen lisääntyminen vähentää samalla kanaviston muiden venttiilien tehoa. Kerrostalon yhteiskanavajärjestelmässä tämä saattaa sekoittaa koko rappukäytävän yhteispoiston säädöt.

2.1.4. Ilmansiirtoreitit

Ilmanvaihtojärjestelmien tulo- ja poistoilmapisteyden moitteeton toteutus ja ylläpito ei vielä yksinään takaa ilmanvaihdon hyvää toimivuutta koko asunnossa. Ilman on myös liikuttava huoneesta toiseen. Makuu- ja oleskelutiloihin tuotu ilma suunnitellaan yleensä siirtymään huoneesta toiseen väliovien ja kynnyksen välisen raon kautta. Jos tämä rako ei ole mitoitettu riittäväksi, jotkut huoneista saattavat jäädä alipaineisiksi.

Ilman tarkoituksenmukainen siirtyminen huoneesta toiseen saattaa estyä myös korvausilmaventtiilien väärän asettelun vuoksi. Jos korvausilmaventtiileitä on asennettu virheellisesti samaan tilaan poistoilmaventtiilien kanssa, saattaa lähinnä poistoa oleva korvausilmaventtiili aiheuttaa oikosulkuvirtauksen, jolloin asunnon muista korvausilmaventtiileistä ei enää tule riittävää määrää korvausilmaa hyvän sisäilman laadun ylläpitämiseen.

2.2. Eri ilmanvaihtoratkaisujen ominaisuuksia

2.2.1. Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto on yksinkertaisin käytössä olevista asuntojen ilmanvaihtojärjestelmistä. Poistoilmanvaihdosta huolehtivat pystyhormit, joiden imuteho johtuu pääasiassa sisä- ja ulkotilojen välisestä lämpötilaerosta. Tämän lisäksi järjestelmän toimintaan vaikuttavat hormien korkeus sekä ulkona vallitsevat tuuliolosuhteet. Lämpimänä kesäpäivänä painovoimaisen ilmanvaihdon poiston tehokkuus voi olla kolmannes kylmien talvipäivien vastavasta. Myös tuuli saattaa aiheuttaa katolla ylipaineen, joka painaa ilman takaisin poistohormista huoneistoon päin (Korkala ja Karvonen 1987).

Painovoimaisen ilmanvaihdon rakennus on saatettu myöhemmin peruskorjata tiiviimmäksi kuin mihin ilmanvaihtojärjestelmä on suunniteltu, ilman että riittävän korvausilman saannista on huolehdittu. Tällöin korvausilma ei välttämättä enää riitä turvaamaan asianmukaista ilmanvaihtuvuutta.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa poistokanaviston paineet ovat hyvin pienet, jolloin järjestelmä on herkkä häiriintymään tuloilman järjestämisen ongelmista. Remontin yhteydessä asuntoon saatetaan asentaa rakoventtiilit ikkunaraken-teisiin. Tämä venttiilityyppi saattaa olla suunniteltu lähinnä koneellisiin ilmanvaihtojärjestelmiin, jolloin pienipaineinen painovoimainen järjestelmä ei välttämättä pysty ottamaan riittävästi korvausilmaa.

Painovoimaisia ilmanvaihtojärjestelmiä pyritään usein tehostamaan asentamalla huoneistojen keittiöihin ja pesutiloihin paikallisia koneellisia poistoja. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 (1997) kieltää painovoimaisen ja koneellisen järjestelmän yhdistämisen niin, että huonetilojen painesuhteet tai ilman virtaussuunnat huonetilojen välillä voivat muuttua.

2.2.2. Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä poistoilman virtauksesta huolehtivat poistoilmakanavistoon liitetyt puhaltimet. Korvausilma järjestelmään tuodaan huoneistoon samalla tavalla kuin painovoimaisessa järjestelmässä korvausilmaventtiilien kautta.

2.2.3. Huoneistokohtainen tehonsäätö koneellisen poiston järjestelmissä

Koneellinen poistoilmanvaihto voidaan suunnitella siten, että asukkaalla on mahdollisuus säätää poistoilmavirtoja omien tarpeidensa mukaan. Mikäli poistoilmalaitteet ovat asuntokohtaisia, niiden tehoja voidaan säätää suoraan. Nykyisin on rakennettu kerrostalojen yhteisiä ilmanvaihtojärjestelmiä, joissa asuntokohtaisia poistoilmamääriä voidaan tehostaa avaamalla liesikuvun säätöpeltiä ajastinkäyttöisesti.

Huoneistokohtainen ilmavirtojen säätö antaa asukkaalle mahdollisuuden säätää ilmavirtoja tarpeittensa mukaan, minkä on todettu lisäävän merkittävästi tyytyväisyyttä sisäilman laatuun. Mikäli poistoilmanvaihtolaite on huoneistokohtainen, asukkaat saattavat pyrkiä säästämään energiakustannuksia pitämällä ilmanvaihtoa pienimmällä teholla. Yleensä esimerkiksi neliportaisessa poistoilman säädössä pienin teho on suunniteltu pitämään yllä tyhjän rakennuksen ilmanvaihtoa, joten se ei ole riittävä asumisen aiheuttamien ilmanvaihtotarpeiden täyttämiseen.

2.2.4. Koneellinen tulo ja poisto

Koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä poistoilmavirtojen lisäksi myös tuloilmaa varten on oma puhaltimensa. Järjestelmä voidaan kerrostaloissa asentaa keskitetyksi, jolloin kaikkien asuntojen ilmanvaihdosta huolehtii yksi tulo- ja poistoilmakone. Viime aikoina myös kerrostaloihin on alettu asentaa huoneistokohtaisia tulo- ja poistoilmalaitteistoja.

Koneellisessa tuloilmajärjestelmässä asunnon kaikki korvausilma tulee yhden kanaviston kautta, jolloin kanaviston ja tuloilmaventtiilien puhtaus on ensiarvoisen tärkeää sisäilman laadun kannalta. Kanaviston puhtaana pysymiseen vaikuttaa pääasiassa käytettyjen tuloilman suodattimien laatu. EU4- tai EU5-luokan suodattimet eivät vielä riitä kaupunkiolosuhteissa takaamaan puhdasta tuloilmaa.

Tuloilmakanavistojen puhtauteen vaikuttaa paljon myös koko järjestelmän asennuksen ja ylläpidon huolellisuus. Vielä 1980-luvulla oli tavallista, että ilmanvaihtokanavien komponentit varastoitiin suojaamattomina rakennustyömaan kulkureittien viereen, eikä niitä puhdistettu asennuksen yhteydessä. Tästä virheellisestä menettelytavasta ei ole täysin päästy eroon vieläkään. Tuloilmalaitteistojen väärä asennus saattaa myös haitata niiden toimintaa. Esimerkiksi tuloilman suodattimien kehysten raoista saattaa päästä läpi huomattava määrä suodattamatonta ilmaa tuloilmakanavaan.

Ongelmia on tuottanut myös aikoinaan käytössä ollut tapa käyttää betonista ontelolaattaa tuloilmakanavan osana. Laatasta irronnut pöly ja betoniaines aiheuttavat helposti sisäilmaongelmia, mikä lisäksi rakenne on vaikea puhdistaa.

Oikein suunniteltu, asennettu ja ylläpidetty koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä antaa käytössä olevista asuntojen ilmanvaihtojärjestelmistä parhaat mahdollisuudet hallittuun sisäilmastoon. Tuloilmajärjestelmän ilmavirrat voidaan mitoittaa tilakohtaisten tarpeiden mukaan, minkä lisäksi järjestelmän tuloilmaventtiilit on helpompi suunnitella vedottomiksi kuin suoraan rakennusvaippaan asennettavat korvausilmaventtiilit. Koneellisessa tulo- ja poistoilmajärjestelmässä käytetään yleisesti poistoilmavirran lämpöenergiaa tuloilman lämmitykseen, mikä vähentää huomattavasti vetoisuusongelmia tavallisiin korvausilmaventtiileihin verrattuna. Tarpeen mukaan tuloilmajärjestelmään voidaan asentaa myös erillinen asunnon keskuslämmitysjärjestelmään kytetty tai sähkövastuksella toimiva ilmanlämmitysyksikkö.

3. Aineisto ja menetelmät

3.1. Painovoimaisen ilmanvaihdon kohteet

Tämän projektin puitteissa tutkituista asunnoista yhdeksässä oli painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä (taulukko 1). Kaksi kohdetta oli rakennettu 1920-luvulla, kolme 50-luvulla, kolme 60-luvulla ja yksi 80-luvulla. Kahta rivitalo-asuntoa lukuun ottamatta kaikki kohteet olivat kerrostaloissa.

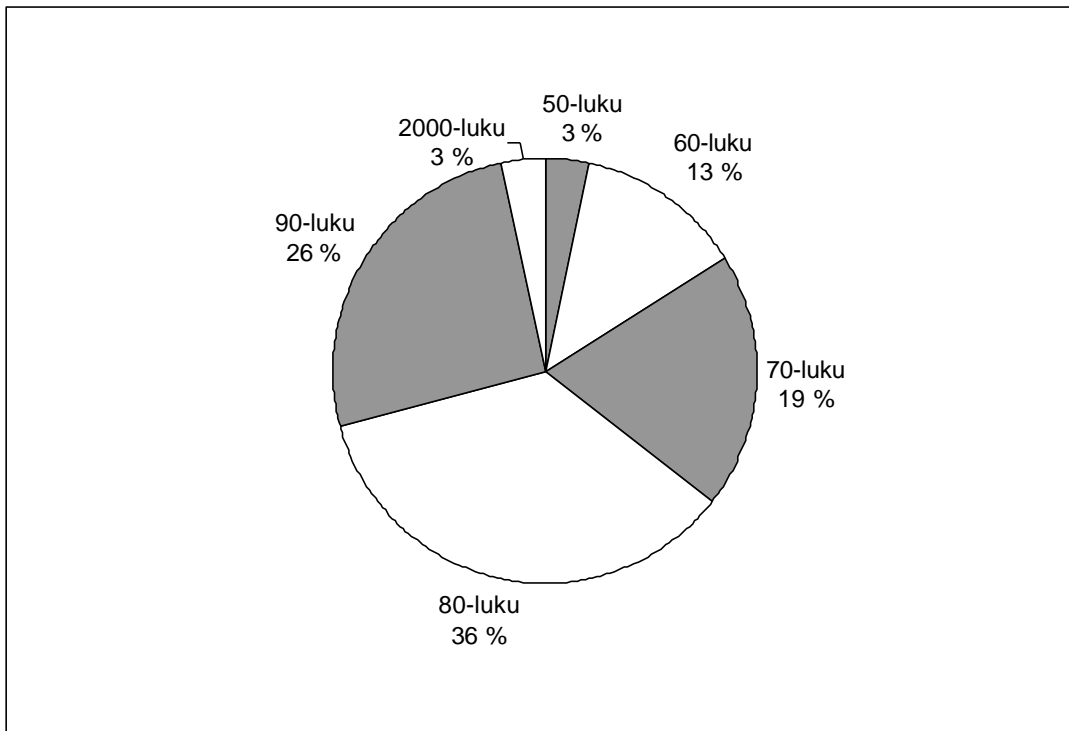
Taulukko 1. Painovoimaisen ilmanvaihdon kohteet

Kohde	Talotyyppi	Huoneita	Rakennusaika	Pinta-ala (m ²)	Asukkaita	Korvausilma
PA-1	kerrostalo	3h+k	1966	58	1	ei ole
PA-2	kerrostalo	1h+k	1960	30	1	rakoventtiilit
PA-3	kerrostalo	1h+kk	1929	48	1	seinäventtiilit
PA-4	rivitalo	4h+k+s	1980	83	4	rakoventtiilit
PA-5	kerrostalo	1h+k	1927	28	2	seinäventtiili
PA-6	kerrostalo	2h+kk	1954	46	2	rakoventtiilit
PA-7	rivitalo	6h+k	1960	228	4	ei ole
PA-8	kerrostalo	2h+kk	1953	66	1	rakoventtiilit
PA-9	kerrostalo	4h+k	1957	68	2	tiivisteistö

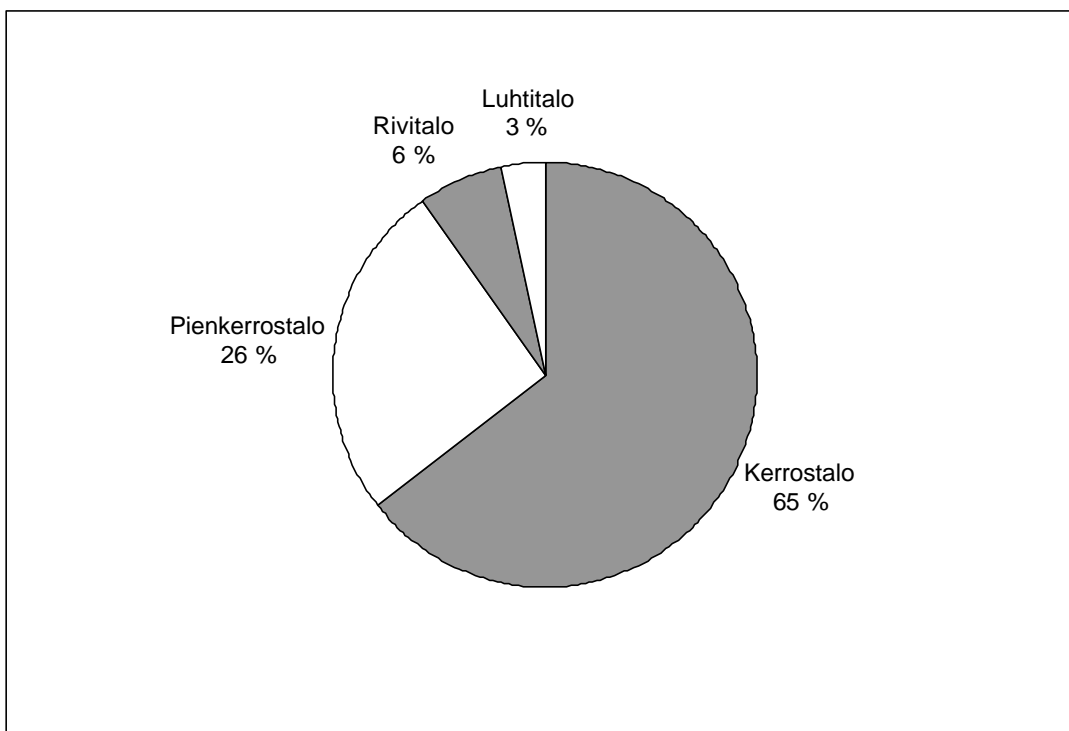
3.2. Koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteet

Projektissa tutkittiin 31 koneellisen poistoilmavaihdon kohdetta. Asuntojen taustatiedot on esitetty taulukossa 2.

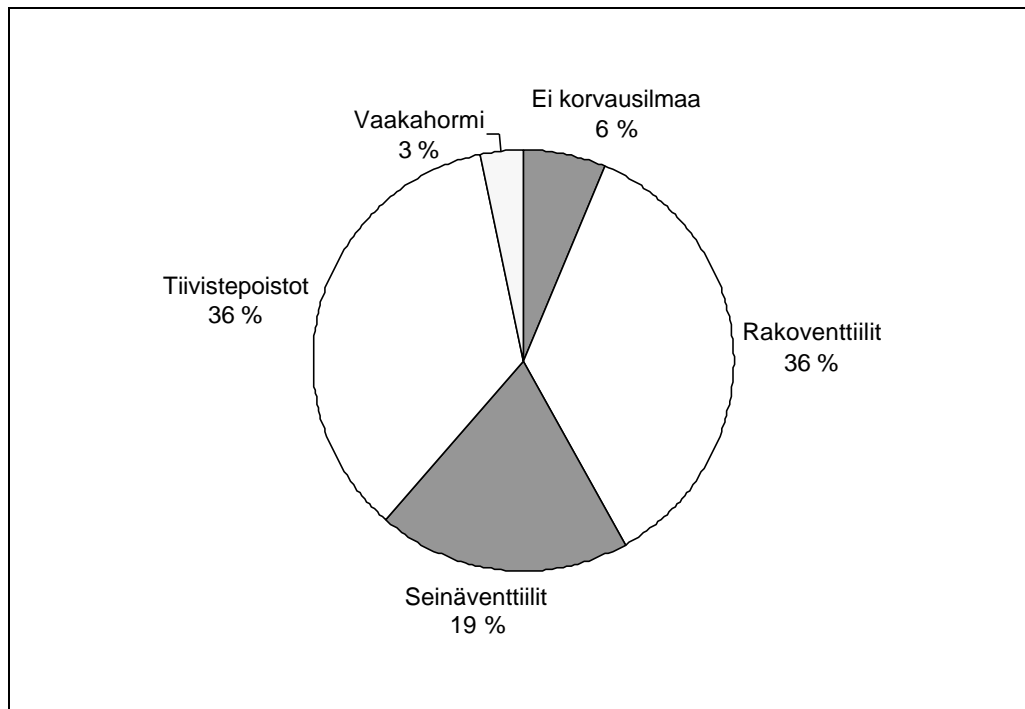
Tutkituista koneellisen poiston rakennuksista suurin osa oli rakennettu 80-luvulla, 90-luvulla rakennettuja asuntoja tutkituista oli toiseksi eniten (kuva 1). Suurin osa tutkituista rakennuksista oli kerrostaloja, toiseksi eniten oli pienkerrostaloja (kuva 2). Koneellisen poiston rakennuksissa korvausilma tuli yleisimmin rakoventtiilien kautta, seuraavaksi yleisin ratkaisu oli tiivistepoistojen käyttö (kuva 3).



Kuva 1. Rakennusvuosien jakautuminen tutkituissa koneellisen poiston koh-teissa



Kuva 2. Eri talotyyppien jakautuminen koneellisen poiston rakennuksissa



Kuva 3. Korvausilmaratkaisujen jakaumat koneellisen poiston rakennuksissa

Taulukko 2. Koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteet

Kohde	Talotyyppi	Huoneita	Rakennettu	Pinta-ala (m ²)	Asukkaita	Korvausilma
KP-1	kerrostalo	2+tk	1990	38	1	rakoveintiilit
KP-2	kerrostalo	3h+k	1977	66	3	tiivisteistö
KP-3	kerrostalo	3h+k	1991	74	4	rakoveintiilit
KP-4	kerrostalo	3h+k	1966	75	2	rakoveintiilit
KP-5	rivitalo	3h+k+s	1985	76	1	tiivisteistö
KP-6	kerrostalo	1h+kk	1983	38	1	tiivisteistö
KP-7	kerrostalo	2h+kk	1997	56	1	seinäventtiilit
KP-8	kerrostalo	3h+k	1984	71	2	tiivisteistö
KP-9	kerrostalo	5h+k	1972	119	5	rakoveintiilit
KP-10	kerrostalo	3h+k	1986	71	4	tiivisteistö
KP-11	kerrostalo	1h+kk	1955	30	1	seinäventtiilit
KP-12	kerrostalo	3h+kk	1962	73	3	tiivisteistö
KP-13	pienkerrostalo	2h+tk	1986	59	4	seinäventtiilit
KP-14	pienkerrostalo	2h+kk	1989	37	1	seinäventtiilit
KP-15	kerrostalo	2h+kk	1998	40	1	rakoveintiilit
KP-16	rivitalo	2h+kk	1984	48	1	tiivisteistö
KP-17	kerrostalo	3h+kk	1966	85	6	ei korvausilmaa
KP-18	kerrostalo	4h+k	1995	66	3/7	vaakahormit
KP-19	kerrostalo	2h+kk	1977	50	1	tiivisteistö
KP-20	pienkerrostalo	2h+k	1992	58	3	seinäventtiilit
KP-21	kerrostalo	3h+k	1979	70	1	rakoveintiilit
KP-22	pienkerrostalo	3h+kk	1975	71	3	ei korvausilmaa
KP-23	luhtitalo	2h+tk	1984	61	2	tiivisteistö
KP-24	kerrostalo	3h+kk	1974	64	3	tiivisteistö
KP-25	kerrostalo	3h+k	1978	74	5	tiivisteistö
KP-26	pienkerrostalo	4h+k	1993	82	4	rakoveintiilit
KP-27	pienkerrostalo	3h+k	1987	75	3	rakoveintiilit
KP-28	pienkerrostalo	2h+k	1987	75	3	rakoveintiilit
KP-29	kerrostalo	3h+k+s	2000	78	4	seinäventtiilit
KP-30	pienkerrostalo	3h+k+s	1994	74	3	rakoveintiilit
KP-31	kerrostalo	2h+kk	1984	58	1	rakoveintiilit

3.3. Huoneistokohtaisen tehonsäädön kohteet

Projektissa tutkittiin kymmenen koneellisen poistojärjestelmän asuntoa, joissa ilmanvaihdon tehoa voitiin säätää huoneistokohtaisesti (taulukko 3).

Taulukko 3. Kohteet, joissa koneellisessa poistoilmanvaihdossa oli huoneistokohtainen säätö

Kohde	Talotyyppi	Huonemäärä	Rakennusaika	Pinta-ala (m ²)	Asukasmäärä	Korvausilma
HS-1	paritalo	4h+k+s	1986	128	4	ei korvausilmaa
HS-2	rivitalo	4h+k	1984	92	2	ei korvausilmaa
HS-3	omakotitalo	4h+tk+s	1983	118	2	hormi eteiseen
HS-4	rivitalo	4h+k	1993	80	4	rakoventtiilit
HS-5	kerrostalo	1h+kk	1927 (pk 1992)	44	1	rakoventtiilit
HS-6	rivitalo	4h+k+s	1998	95	5	rakoventtiilit
HS-7	kerrostalo	2h+k	2000	65	3	vaakahormi
HS-8	kerrostalo	3h+kk	2000	62	tyhjä	rakoventtiilit
HS-9	kerrostalo	3h+kk	2000	62	2	rakoventtiilit
HS-10	kerrostalo	3h+kk	2000	62	4	seinäventtiili

3.4. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteet

Kuudessa tutkituista asunnoista käytettiin koneellista tulo- ja poistoilmajärjestelmää (taulukko 4). Yksi kohteista oli liikehuoneisto.

Kerrostaloasunnoissa KTP-2 ja KTP-4 ilmanvaihtojärjestelmän laitteisto sijaitsi itse asunnossa. Kohteessa KTP-6 ilmanvaihtolaitteisto oli koko rakennuksen yhteinen. Kohde KTP-5 oli liikehuoneisto.

Taulukko 4. Koneellisen tulon ja poiston kohteet

Kohde	Talotyyppi	Huoneita	Rakennusaika	Pinta-ala (m ²)	Asukkaita
KTP-1	kerrostalo	3h+kk	1988	73	2
KTP-2	kerrostalo	3h+k	1994	79	3
KTP-3	kerrostalo	2h+k+s	1995	80	8
KTP-4	kerrostalo	4k+k	1994	80	3
KTP-5	kerrostalo, pienliikehuoneisto	2	1963	47	2
KTP-6	kerrostalo	2+kk	1974	45	1

3.5. Mittausmenetelmät

Koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa poistoilmavirrat mitattiin standardin SFS-5512 mukaisesti kahdella eri menetelmällä. Passiivianemometritorven (Alnor AM-300) ja termooanemometrin (SwemaAir 300) avulla tilavuusvirta määritettiin anemometritorven lävitse kulkevan ilmavirran nopeuden avulla. Tämän lisäksi samoista poistoventtiileistä mitattiin tilavuusvirrat paine-eromenetelmällä (mitta-anturi SwemaAir SWA07). Molemmat menetelmät on kuvattu tarkemmin kappaleessa 6, jossa vertaillaan menetelmien keskinäistä vastaavuutta ja soveltuvuutta kenttäkäyttöön.

Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä poistoilmamäärät vaihtelevat niin paljon, että hetkellisten poistoilmavirtojen määrittäminen niistä ei anna kattavaa kuvaa järjestelmän toiminnasta. Lisäksi painovoimaisen järjestelmän poistoventtiilit ovat usein mallia, jonka päälle anemometritorvea ei voi asettaa tiiviisti, ja josta ei ole käytettävissä paine-eromenetelmälle välttämättömiä painehäviökäyriä. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa arvioitiin tutkimalla järjestelmän rakenneratkaisuja sekä määrittämällä ilmavirtojen kulureittejä Dräger CH 216 virtausosoittimen avulla.

Liesikupujen poistoilmavirrat mitattiin monipistemenetelmällä standardin SFS 5512 mukaisesti (Suomen standardisoimis yhdistys 1989). Liesikuvun rasvasuodattimen otsapinnalta mitattiin ilmavirran nopeus kahdeksassa pisteessä termooanemometrillä. Mittattujen ilman virtausnopeuksien keskiarvon (v) avulla laskettiin rasvasuodattimen lävitse menevän ilman tilavuusvirta (qv) yhtälöllä

$$qv=0,85vA_0,$$

jossa v jossa A_0 on otsapinnan pinta-ala.

Standardin mukaan menetelmän epätarkkuus on noin +10% (Suomen standardisoimis yhdistys 1989).

4. Tulokset

4.1. Painovoimaiset ilmanvaihtojärjestelmät

Tutkituista yhdeksästä painovoimaisen ilmanvaihdon kohteista kahdessa sisäilmaongelmien syynä oli riittämätön korvausilman saanti. Kolmessa kohteessa poistoilmajärjestelmä ei toiminut. Kahdessa näistä kohteista syynä ongelmiin oli koneellisen poistojärjestelmän asentaminen osaan asuntoa (taulukko 5).

Taulukko 5. Kokoomataulukko painovoimaisten ilmanvaihtojärjestelmien ongelmista

Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
PA-1	riittämätön korvausilma	korvausilmaventtiilit puuttuvat
PA-2	väärä korvausilman jako	asukkaan omat remonttitoimenpiteet
PA-3	riittämätön poistoilma	remontissa poistoventtiilit tukittu
PA-4	poistoilmanvaihto ei toimi	sekajärjestelmä, jossa koneellisen osan käyttö kumosi painovoimaisen osan toiminnan
PA-5	poistoilmanvaihto ei toimi	sekajärjestelmä, jossa koneellisen osan käyttö kumosi painovoimaisen osan toiminnan
PA-6	ei todettu	
PA-7	ei todettu	
PA-8	ei todettu	
PA-9	ei todettu	

Asunnosta PA-1 puuttuivat korvausilmareitit kokonaan. Kohteessa PA-2 huoneiston entiset korvausilmaluukut oli remontoitu umpeen ja korvattu ikkunarakenteisiin asennetuilla rakoveintiileillä. Asukas oli kuitenkin omatoimisesti aukkaissut keittiössä olevan korvausilmaluukun tehostaakseen ilman vaihtuvuutta. Koska ilma virtaa asunnon sisällä pienimmän vastuksen reittiä, suurin osa keittiön poistoilmaventtiilin ilmasta virtasi tästä uudelleen avatusta luukusta olohuoneen poistoilmavirtojen jäädessä vajavaiseksi.

Kohteessa PA-3 keittiön poistoilmaventtiili oli tukittu kokonaan remontin yhteydessä. Pesuhuoneessa oleva poistoventtiili puolestaan oli jätetty alaslasketun laipiorakenteen taakse, jonka lautojen väliset raot eivät riittäneet turvaamaan riittävää ilman vaihtuvuutta. Kiinteän laipiorakenteen vuoksi myös poistoilmaventtiilin puhdistaminen on mahdotonta.

Kohteessa PA-4 poistoilmanvaihdosta huolehtivat keittiön hormiin kytketty liesikapu sekä saunatiloihin asennettu huippuimuri, wc:n poistosta oli jätetty

huolehtimaan painovoimainen venttiili. Liesituulettimen tai saunan huippuimurin kytkeminen päälle aiheutti wc:n ilmapirtauksen kääntymisen väärään suuntaan. Liesituulettimen kytkeminen aiheutti samantyyppisen häiriön myös kohteessa PA-5.

Tämän tutkimuksen suoritus osui painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuuden kannalta erityisen epäedulliseen aikaan, sillä kesän kuumuuden vuoksi poistoilmavirroille tarpeellista lämpötilaeroa ulko- ja sisätilojen välille ei päässyt muodostumaan. Silti kohteissa PA-6 – PA-9 painovoimaisen ilmanvaihdon todettiin toimivan tyydyttävästi.

4.2. Koneelliset poistoilmajärjestelmät

Tutkituista koneellisen poiston järjestelmistä kuudessa tapauksessa (19%) alkuperäisen valituksen syynä oli asunnon tunkkaisuus, seitsemässä (23%) valitus johtui puolestaan hajun kulkeutumisesta toisesta huoneistosta. Kahdeksassa (26%) kohteessa valitus johtui yleisemmästä oireilusta, mutta tutkittaessa todettiin riittämättömän korvausilman saannin olevan osaltaan vaikuttamassa sisäilmaongelman esiintymiseen. Kuudessa (19%) kohteessa asukkaan valituksen syy ei liittynyt edellisiin luokitteluihin. Neljässä (13%) kohteista ilmanvaihdon puutteellisen toiminnan ei voitu osoittaa liittyvän ongelmien esiintymiseen.

Koneellisen poistoilmajärjestelmän ilmamäärien kokonaisarvot on koottu liitteeseen 1. Kokonaisilmamäärien jakaumat on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Koneellisen poistoilmajärjestelmän kokonaisilmamäärien jakaumat

	Osateho		Kokoteho	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Lukumäärä	31	31	23	23
Minimi	5	1	50	14
Maksimi	164	146	279	77
Keskiarvo	62	22	112	31
Mediaani	54	15	100	28
Standardipoikkeama	35	25	50	14

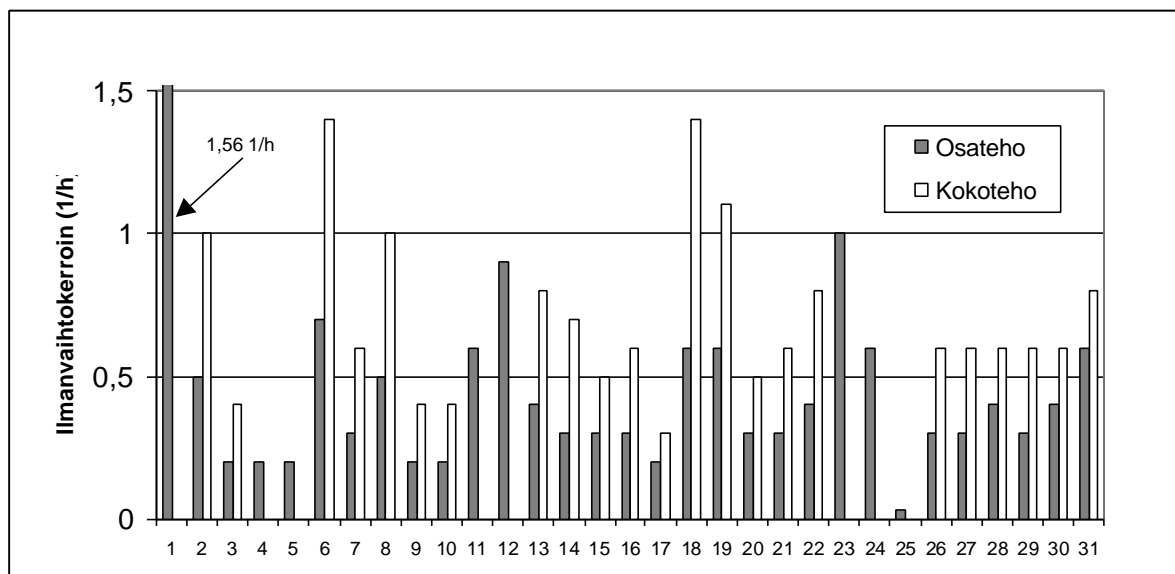
Koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteista 20:ssä (65%) ilmanvaihtokerroin oli puoliteholla alle sosiaali- ja terveysministeriön Sisäilmaohjeen (1997) ohjearvon 0,5 1/h. Kokoteholla ohjearvon alle jäi puolestaan 4 kohdetta (17%). Kahdeksassa koneellisen ilmanvaihdon asunnossa oli vain yksi tehoasetus.

Koneellisen poiston asuntojen ilmanvaihtokertoimien keskiarvo on osateholla alle Sisäilmaohjeen (sosiaali- ja terveysministeriö, 1997) ohjearvon 0,5 1/h (kuva 4). Osatehon pienin arvo on kohteesta, jossa poistoilmaventtiilit oli puhdistamisen puutteessa tukkiutuneet täysin.

Taulukko 7. Koneellisen poistojärjestelmän kohteiden ilmanvaihtokertoimien jakaumat.

	Osateho (1/h)	Kokoteho (1/h)
Lukumäärä	31	23
Minimi	0,03	0,3
Maksimi	1,6	1,4
Keskiarvo	0,4	0,7
Mediaani	0,4	0,6
Standardipoikkeama	0,3	0,3

Koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteiden mittausajankohtana määritetyt ilmanvaihtokertoimet on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Koneellisen poistoilmavaihtojärjestelmän kohteiden ilmanvaihtoker-
toimet

4.2.1. Tunkkaisuusongelmat

Kuudessa tutkitussa kohteessa asukkaiden valituksen aiheena oli asunnon tunkkaisuus (taulukko 8).

Taulukko 8. Koneellisen poiston asunnot, joissa alkuperäinen valitus liittyi tunkkaisuusongelmiin

Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
KP-1	tunkkaisuus erityisesti aamuisin	riittämätön korvausilma makuuhuoneessa
KP-2	yleinen tunkkaisuus	osa korvausilmasta tuli rakenteiden kautta
KP-22	yleinen tunkkaisuus	riittämätön korvausilma
KP-23	yleinen tunkkaisuus	riittämätön korvausilma
KP-24	erityisesti makuuhuone tunkkainen	riittämätön korvausilma
KP-26	tunkkaisuus, aamupäänsärky	matala ilmanvaihtokerroin

Yhdessä pienkerrostaloasunnossa (kohde KP-26) valitettiin mm. lasten aamupäänsärkyä. Asunnossa muun muassa öisin käytetyllä ilmanvaihdon osateholla ilmanvaihtokerroin oli 0,3 1/h. Tällainen yöaikainen ilmanvaihdon tason lasku on yleisestikin tapana koneellisen poiston ilmanvaihtojärjestelmissä. Yöaikaan asukkaat kuitenkin viettävät pisimpiä aikoja yhdessä huoneessa. Mikäli makuuhuoneeseen ei ole järjestetty riittävä korvausilman saantia, yön aikana huoneen hiilidioksiditasot saattavat nousta erittäin korkeiksi.

Kerrostaloasunnossa KP-1 klo 6-20 päällä olevan ilmanvaihdon kokotehon ilmanvaihtokerroin oli 1,6 1/h, mutta asukas valitti silti tunkkaisuutta erityisesti aamuisin. Tarkastuksen yhteydessä kävi ilmi, että makuuhuoneen korvausilmaventtiili oli kiinni. Tässä tilanteessa ainoa huoneistoon tuleva korvausilma tuli olohuoneen venttiilistä, mistä se siirtyi ulos suoraan keittiön ja pesuhuoneen poistoventtiilien kautta.

Kerrostalokohteessa KP-2 korvausilma tuli ikkunoihin tehtyjen tiivistepoistojen kautta. Asunnon ilmanvaihtokertoimet olivat 0,5 ja 1,0 1/h. Lähempi tarkastelu paljasti keittiön pesualtaan alapuolisesta rakenteesta reiän, jota kautta virtasi korvausilmaa sisätiloihin.

Kahdessa asunnossa (KP-22, KP-23) ei ollut lainkaan korvausilmaventtiilejä. Kohteessa KP-22 ilmanvaihtokertoimet olivat osateholla 0,4 1/h, täysteholla 0,8 1/h. Kohteessa KP-23 ilmanvaihtokerroin oli puolestaan 1,0 1/h. Näissä asunnoissa korvausilma tuli rakenteiden rakojen kautta, mikä ei takaa riittävä raikkaan ilman saantia oikeisiin paikkoihin.

Kohteessa KP-24 asukkaat valittivat tunkkaisuudesta, erityisesti makuuhuoneessa. Asunnon ilmanvaihtokerroin oli 0,6 1/h, mutta korvausilma tuli ikkunatiivisteisiin tehdyn aukon kautta.

4.2.2. Hajuongelmat

Kahdeksassa tutkituista koneellisen poiston asunnoista (kohteet KP-3, KP-4, KP-5, KP-6, KP-7, KP-8, KP-9 ja KP-17) alkuperäinen valitus liittyi hajuongelmiin (taulukko 9). Kolmessa kohteesta (KP-3, KP-4, KP-5) ongelmaan liittyi selkeästi alitehoinen poistoilmajärjestelmä. Kohteessa KP-3 ilmanvaihtokertoimet olivat ilmanvaihdon puoliteholla 0,24 1/h ja kokoteholla 0,39 1/h. Kerrostaloasunnossa KP-4 ilmanvaihtokerroin oli puolestaan 0,2 1/h. Asunnon ainoa rakomallinen korvausilmaventtiili oli asennettu lapsen makuuhuoneen ikkunarakenteeseen, josta raittiilla ilmalla oli suora poistumisreitti vaatehuoneen poistoventtiilin kautta. Kohteessa KP-5 rivitaloon oli asennettu yhteiseksi poistoilmalaitteeksi huippumuri, joka oli tähän tarpeeseen selkeästi alitehoinen (ilmanvaihtokerroin 0,3). Lisäksi asunnon tuloilmareitteinä olivat pelkätään ikkunoihin tehdyt tiivistepoistot.

Taulukko 9. Koneellisen poiston kohteet, joissa alkuperäinen valitus liittyi hajuongelmiin

Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
KP-3	tupakan haju naapurista	alitehoinen poisto
KP-4	hajuongelma	alitehoinen poisto
KP-5	hajuongelma	alitehoinen poisto, riittämätön korvausilma
KP-6	betonin hajua vaatekomerossa	riittämätön korvausilma, järjestelmä imi osan korvausilmasta rakenteiden lävitse
KP-7	hajuongelma	alitehoinen poisto
KP-8	hajuongelma	riittämätön korvausilma
KP-9	tupakan haju naapurista	riittämätön korvausilma
KP-17	haju, tunkkaisuus makuuhuoneessa	ei korvausilmareittejä

Kohteessa KP-6 ongelmana oli vaatekomeroon rakenteiden lävitse kulkeutuva betonin haju. Asunnon poistoilmajärjestelmä oli tehokas: ilmanvaihtokertoimet olivat osateholla 0,7 1/h, kokoteholla 1,4 1/h. Korvausilma asuntoon tuli ikkunarakenteiden tiivistepoistojen kautta, minkä vuoksi asunto oli ilmeisesti voimakkaasti alipaineinen. Tällöin osa asunnon korvausilmasta tuli vaatekomeron pohjarakenteiden kautta.

Kohteessa KP-8 ilmanvaihtokertoimet olivat suositusten mukaisia (osateho 0,6 1/h, kokoteho 1,0 1/h). Asunnon ainoa korvausilman reitti oli kuitenkin ikkunatiivisteisiin tehdyt aukot, jotka olivat väärässä paikassa ja mitoitettu liian pieniksi. Suositellun ikkunarakenteen yläreunasta poistettavan noin 30 senttimetrin tiivisteosuuden sijaan tiivistettä oli poistettu vain noin kymmenen senttimetriä tuuletusikkunoiden yläreunoista.

Kohteessa KP-9 ilmanvaihtokertoimet olivat matalat (osateho 0,2 1/h, kokoteho 0,4). Asunnossa ei ollut riittävästi korvausilmaventtiileitä. Asukkaan valitus koski yläkerran naapuria, jonka tupakointi aiheutti hajuhaitan asunnossa. Ongelma esiintyi erityisesti silloin, kun huoneistojen yhteinen takkaimuri ei ollut päällä. Kun takkaimuri ei ollut päällä, haju tuli huoneistoon hormin kautta. Kytettäessä takkaimuri päälle hajua ei ollut.

Asunnossa KP-17 asukkaat valittivat homeenhajua ja tunkkaisuutta erityisesti makuuhuoneessa. Asunnossa ei ollut lainkaan korvausilmaventtiileitä ja ilmanvaihtokertoimet olivat matalat (osateho 0,2 1/h, kokoteho 0,3 1/h).

4.2.3. Riittämätön korvausilma

Seitsemässä koneellisen poiston asunnossa (KP-10, KP-11, KP-12, KP-13, KP-14, KP-15, KP-16) ongelmien syynä oli riittämätön raittiin ilman saanti asuintiloihin (taulukko 10). Yhdestä huoneistossa (KP-10) korvausilma tuli k-kunatiivisteisiin tehdyn aukon kautta. Kohteessa (KP-11) poistoilmavaihdosta laskettu ilmanvaihtokerroin (0,6 1/h) täytti ohjearvon. Asunnossa oli kuitenkin vain yksi korvausilmaventtiili, mistä syystä erikoisesti pesuhuone oli erittäin alipaineinen. Tämän saattoi todeta esimerkiksi pesuhuoneen ovea avattaessa tuntuvana selkeänä vastuksena. Mikäli pesuhuoneen poisto ei saa korvausilmaansa normaalien siirtoilmareittien kautta, se saattaa ottaa sen esimerkiksi lattiakaivon ilmastusputkesta.

Taulukko 10. Koneellisen poiston kohteet, joissa valitus johtui riittämättömästä korvausilman määrästä

Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
KP-10	riittämätön korvausilma	ei korvausilmareittejä
KP-11	kosteusongelmat pesuhuoneessa	riittämätön korvausilman määrä
KP-12	yleistä oireilua	ainoa korvausilmareitti yksi tiivistepoisto ikkunasta
KP-13	makuuhuoneessa ei tarpeeksi korvausilmaa	makuuhuoneen korvausilmaventtiili tukossa sekä oikosulkuvirtaus
KP-14	yleistä oireilua	riittämätön korvausilma, iv veti ilmaa kosteusvaurion läheisyydestä
KP-15	riittämätön korvausilma	alitehoinen poisto, pesuhuoneen venttiili tukossa
KP-16	riittämätön korvausilma	korvausilma tiivistepoistojen kautta, alitehoinen poisto

Toisessa, keskustan kerrostalokohteessa (kohde KP-12) ilmanvaihtokerroin oli 0,7 1/h, mutta ainoa tuloilmareitti huoneistoon oli olohuoneen tuuletusikkunan yläreunan tiivisteeseen puukolla tehty noin 20 senttimetrin aukko. Tiiviste-teen irrotusjälki ei ollut tasainen, mikä luultavasti entisestään vähensi tiiviste-poiston kautta tulevaa ilmamäärää. Asunnon makuuhuoneisiin ei tullut korvausilmaa lainkaan.

Kohde KP-13 oli pienkerrostalo, jossa asukkaiden alkuperäinen valitus koski makuuhuoneen riittämätöntä korvausilman saantia. Alkujaan makuuhuoneen seinäventtiiliin oli asennustöiden yhteydessä jäänyt paikoilleen seinästä irrotettu betonipala (kuva 5), jonka asukas oli itse myöhemmin poistanut. Makuuhuoneen ilma oli kuitenkin tunkkaista myös tämän jälkeen. Asuntoon oli asennettu yhdistetyn ruokailu- ja keittiötilan seinään makuuhuoneen oven viereen seinäventtiili, joka aiheutti ilmavirran oikosulkuvirtauksen suoraan keittiön poistoon. Tämän lisäksi lyhyin reitti pesuhuoneen poistolle oli olohuoneen seinäventtiilistä, mistä johtuen poistojen teho ei enää riittänyt turvaamaan makuuhuoneen raittiin ilman saantia. Tilanne korjaantui, kun ruokailutilan seinäventtiiliä ryhdyttiin pitämään auki vain tarpeen mukaan, lähinnä ruuanlaiton yhteydessä.



Kuva 5. Kohteen KP-13 korvausilmaventtiilissä ollut betonipala

Kohteessa KP-14 asukas valitti epämääräistä oireilua. Huoneiston ilmanvaihtokertoimet olivat osateholla 0,3 1/h ja kokoteholla 0,7 1/h. Asunnontarkastuksessa löytyi asunnon ulkopuolelta ulko-oven vierestä katosta vesivaurio, josta lähti selvä homeen haju. Erityisesti kokoteholla osa korvausilmasta saattaa tulla ulko-oven kautta huoneistoon.

Asunnossa KP-15 asukkaalla oli hengityselinsairauksia, minkä lisäksi hän valitti asunnon kylmyyttä. Kohteeseen oli asennettu rakoventtiilit. Ilmanvaihtoa mitattaessa havaittiin pesuhuoneen poistoilmakanavan menneen osittain tukkoon melunvaimennukseen käytetyn lasivillavuorauksen kappaleesta (kuva 6). Tukkeen poistamisenkin jälkeen ilmanvaihdon osateho oli alle suositusarvojen (0,3 1/h).



Kuva 6. Kohteen KP-15 poistoilmaventtiilissä ollut vaimennuskappale

Kohteessa KP-16 ilmanvaihtokertoimet olivat 0,3 ja 0,6 1/h. Asunnossa ei ollut korvausilmaventtiileitä, korvausilma tuli ikkunarakenteisiin tehtyjen tiiviste-poistojen kautta. Asukas kärsi hengityselinsairauksista, eikä hänen mukaansa korvausilman määrä ollut riittävä. Erityisesti ongelmalliseksi tässä suhteessa hän koki makuuhuoneen.

4.2.4. Muut sisäilmaongelmat koneellisen poiston asunnoissa

Kuudessa koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteessa valituksen taustalla oleva syy ei kuulunut edellisiin luokitteluihin.

Taulukko 11. Luokittelemattomat koneellisen poiston kohteet

Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
KP-18	materiaalipäästöt	
KP-19	- "" -	
KP-20	yleisoireita mm. silmissä	alitehoinen poisto
KP-21	- "" -	puutteellinen korvausilma
KP-25	ei poistoilmaa	poistoventtiilit tukkeutuneet
KP-31	yleisoireita	riittämätön korvausilma

Kahdessa koneellisen poiston rakennuksessa (KP-18, KP-19) ongelmat aiheutuivat asunnon materiaaleista lähtevistä päästöistä. Molemmissa huoneistoissa ilmanvaihtoarvot täyttivät sisäilmaohjeen suositusarvot, mutta ilmanvaihdon toiminta saattoi silti vaikuttaa ongelmien luonteeseen. Vilkasliikenteisen kadun vieressä olevassa kohteessa (KP-18) korvausilma tuotiin kaavamääräysten vuoksi pitkällä vaakahormilla rakennuksen toiselta sivulta. Tässä asunnossa korvausilmaventtiili oli suorakaiteen muotoista mallia, jonka melko pienet tuloilma-aukot ovat yläreunassa. Kohteessa KP-19 korvausilmaventtiileinä olivat ikkunarakenteisiin tehdyt tiivistepoistot. Asunnosta mitatuilla ilmanvaihtokertoimilla (osateho 0,6 1/h, kokoteho 1,1 1/h) tämä ratkaisu ei luultavasti riittänyt toimittamaan riittävää korvausilman määrää.

Kahdessa asunnossa (KP-20, KP-21) asukkailla oli muun muassa silmäoireita. Näissä kohteissa poistoilmanvaihdon kokotehot olivat ohjearvojen mukaisia, mutta osatehot luokkaa 0,3 1/h. Asuntoon KP-20 oli asennettu seinäventtiili, asuntoon KP-21 puolestaan rakoventtiili ikkunarakenteen yhteyteen.

Asunnossa KP-25 poistoilmaventtiilit olivat laiminlyödyn puhdistuksen johdosta tukkeutuneet täysin. Asunnon ilmanvaihtokertoimeksi mitattiin 0,03 1/h, eli käytännössä poistoilmanvaihdon kautta ei kulkenut lainkaan ilmaa.

Kohteessa KP-26 ilmanvaihtokerroin ilmanvaihdon osateholla oli 0,3 1/h, mutta muuten asunnon ilmanvaihdossa ei havaittu olevan puutteita. Asuntoon KP-31 oli asennettu jälkiasennuksena korvausilmaventtiilit, mutta ne eivät olleet ilmanvaihdon tarpeisiin riittävät.

4.2.5. Muut kohteet

Kohteissa KP-27, KP28, KP-29 ja KP-30 ei voitu osoittaa ilmanvaihdon puutteellista toimintaa. Kohteessa KP-29 mittaukset tehtiin korjaustoimenpiteiden jälkeen lopputuloksen tarkistamiseksi. Kohteessa KP-30 asukas oli kuullut naapurihuoneistossa tapahtuneesta vesivahingosta, ja päätti tarkistuttaa myös oman asuntonsa tilanteen.

4.3. Huoneistokohtainen tehonsäätö koneellisen poiston asunnoissa

Tutkimuksessa oli mukana kymmenen koneellisen poiston kohdetta, joissa ilmanvaihtojärjestelmän tehoa voitiin säätää huoneistokohtaisesti (taulukko 12). Kohteiden kokonaisilmanvaihtomäärien jakaumat on kerätty taulukkoon 13. Kokonaisilmanvaihtomäärien arvot löytyvät puolestaan liitteestä 2. Ilmanvaihtokertoimien vastaavat arvot löytyvät puolestaan taulukosta 14 ja liitteestä 2.

Tutkituista kohteista asunnoissa kuudessa kohteessa (HS-1 – HS-6) ilmanvaihdon tehonsäätö oli järjestetty perinteisesti portaitaisesti. Neljässä kohteessa (HS-7 – HS-10) ilmanvaihdon tehonsäätöä voitiin tehostaa liesikupuun liitetyn järjestelmän avulla. Perinteisen järjestelmän asunnoissa pienimpien

tehojen ilmanvaihtokertoimet olivat alle sosiaali- ja terveysministeriön suosittusarvon.

Taulukko 12. Koneellisen poiston kohteet, joissa oli huoneistokohtainen tehonsäätö

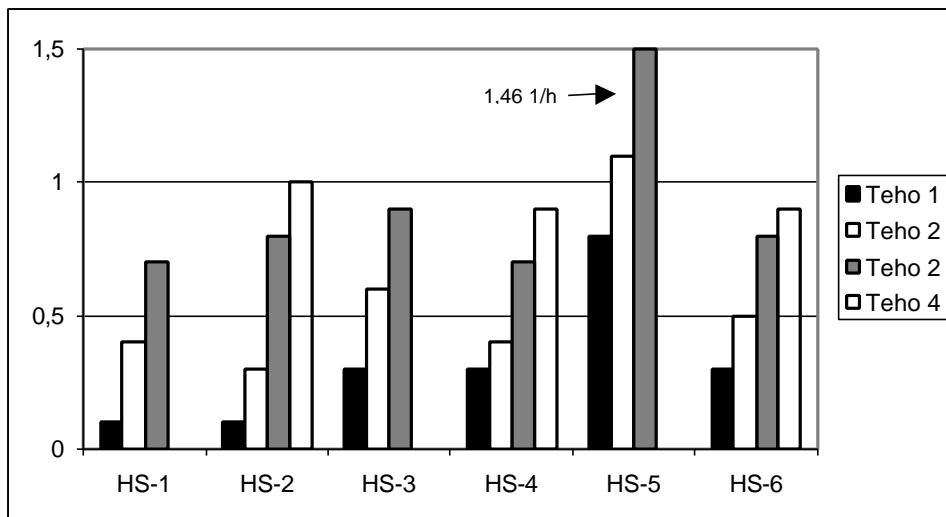
Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
HS-1	yleisoireita	korvausilman puutteellinen
HS-2	hajuongelma	korvausilma puuttuu
HS-3	yleisoireita	korvausilman jako
HS-4	yleisoireita, haju	poiston epätasapaino
HS-5	yleisoireita	korvausilma puutteellinen
HS-6	vanha kosteusvaurio	ei todettu
HS-7	materiaalipäästöt	
HS-8	- "" -	
HS-9	- "" -	
HS-10	- "" -	

Taulukko 13. Huoneistokohtaisen säädön kokonaisilmamäärien jakaumat

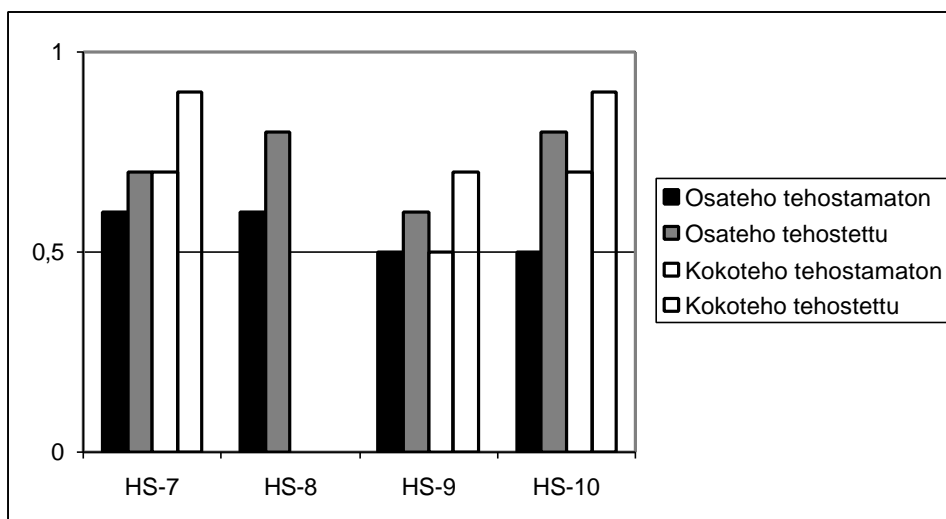
Kohteet HS-1 - HS-6	Teho 1		Teho 2		Teho 3		Teho 4	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Lukumäärä	6	6	6	6	6	6	3	3
Minimi	19	5	59	16	132	25	155	32
Maksimi	100	28	182	51	257	71	221	61
Keskiarvo	62	16	112	28	188	46	183	46
Mediaani	57	14	108	24	181	46	172	43
Standardipoikkeama	30	9	43	13	52	16	35	15
Kohteet HS-7 - HS-10	Osateho tehostamaton		Osateho tehostettu		Kokoteho tehostamaton		Kokoteho tehostettu	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Lukumäärä	4	4	4	4	3	3	3	3
Minimi	80	22	101	28	83	22	107	28
Maksimi	104	29	125	35	108	30	142	40
Keskiarvo	90	25	116	32	99	27	128	35
Mediaani	88	24	119	33	105	29	134	37
Standardipoikkeama	10	3	11	3	13	4	18	6

Taulukko 14. Huoneistokohtaisen säädön ilmanvaihtokertoimien jakaumat

Kohteet HS-1 - HS-6	Teho 1	Teho 2	Teho 3	Teho 4
	1/h	1/h	1/h	1/h
Lukumäärä	6	6	3	3
Minimi	0,1	0,3	0,7	0,9
Maksimi	0,8	1,1	1,5	1,0
Keskiarvo	0,3	0,6	0,9	0,9
Mediaani	0,3	0,5	0,8	0,9
Standardipoikkeama	0,3	0,3	0,3	0,1
Kohteet HS-7 - HS-10	Osateho tehostamaton	Osateho tehostettu	Kokoteho tehostamaton	Kokoteho tehostettu
	1/h	1/h	1/h	1/h
Lukumäärä	4	4	3	3
Minimi	0,5	0,6	0,5	0,7
Maksimi	0,6	0,8	0,7	0,9
Keskiarvo	0,6	0,7	0,6	0,8
Mediaani	0,6	0,8	0,7	0,9
Standardipoikkeama	0,1	0,1	0,1	0,1



Kuva 7. Ilmanvaihtokertoimet huoneistokohtaisen koneellisen poiston asunnoissa, joissa oli huoneistokohtainen tehonsäätö (kohteet HS-1 – HS-6)



Kuva 8. Ilmanvaihtokertoimet huoneistokohtaisen koneellisen poiston asunnoissa, joissa oli huoneistokohtainen tehonsäätö (kohteet HS-7 – HS-10)

Viidessä kohteessa (HS-1, HS-3, HS-4, HS-5, HS-6) asukkailla oli yleisoreita, joiden epäiltiin johtuvan ilmanvaihdon ongelmista. Kohteessa HS-1 varsinaisen ongelman oli puuttuvissa korvausilmaventtiileissä. Merkkisavun käyttö osoitti selkeän ilmavirtauksen ikkunarakenteiden rakojen kautta. Myös nurkassa olevan kiinnimuuratun hormin lattian rajassa olevista halkeamista virtasi ilmaa sisään. Korvausilmaventtiilien puuttuminen oli ongelmana myös kohteessa HS-2, jossa valitettiin hajuongelmasta olohuoneessa.

Kohde HS-3 oli omakotitalo, jossa korvausilman jako oli toteutettu väärin. Asunnon ainoa korvausilmaventtiili oli vedetty hormilla eteiseen, joten esimerkiksi makuuhuoneisiin ei tullut korvausilmaa. Tämän lisäksi pesuhuoneessa oli rakennevaurioita.

Asunnossa HS-4 valitusten aiheena olivat vanhan kosteusvaurion lisäksi hajuongelmat. Rakennuksen kokonaispoistoilmamäärät olivat pienintä säätöta-soa lukuun ottamatta suositusten mukaiset. Asukas oli kuitenkin yrittänyt tehostaa pesuhuoneen poistoa aukaisemalla venttiilit maksimiasentoonsa. Tämä paikallinen lisäys vähentäisi kuitenkin samassa kanavistossa olevien poistoventtiilien ilmamääriä, mikä saattoi vaikuttaa havaittuihin ongelmiin.

Kohteessa HS-5 ilmanvaihto oli varsin tehokas: ilmanvaihtokertoimet eri tehoilla olivat 0,82; 1,08 ja 1,46. Näillä poistoilmamäärillä asuntoon asennetut rakomalliset korvausilmaventtiilit eivät luultavasti olleet riittävät. Tällöin asuntoon syntyvä alipaine saattoi vetää ilmaa rakenteiden lävitse.

Kohteet HS-7, HS-8, HS-9 ja HS-10 sijaisivat samassa vuonna 2000 valmistuneessa kerrostalo-osakeyhtiössä. Tässä rakennuksessa ilmanvaihto toimi pääasiallisesti tavallisena koneellisena poistona, mutta asunnoissa oli myös mahdollisuus tehostaa ilmanvaihtoa aukaisemalla liesikuvun säätöpeltiä ajastintoisesti. Asuntojen sisäilman ongelmien syyksi todettiin lattiapinnoitteista lähtöisin olevat materiaalipäästöt. Yhdessä asunnossa HS-9 rakomalliset korvausilmaventtiilit olivat kiinni. Toisessa kohteesta HS-8 tuloilma oli järjestetty vetämällä vaakahormi viereistä vilkkaasti liikennöityä tietä etäämpänä olevalta rakennuksen sivulta. Huoneistossa HS-10 asukas oli säätänyt pesuhuoneen poiston lähes kiinni.

4.4. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

Taulukko 15. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteet

Kohde	Sisäilmaongelma	Syy
KTP-1	tupakan haju	ei todettu
KTP-2	hajuongelma	tulo ja poisto epätasapainossa
KTP-3	haju, materiaalipäästö	korvausilman saanti
KTP-4	yleisoireita	tulo ja poisto epätasapainossa
KTP-5	ei todettu	
KTP-6	ei todettu	

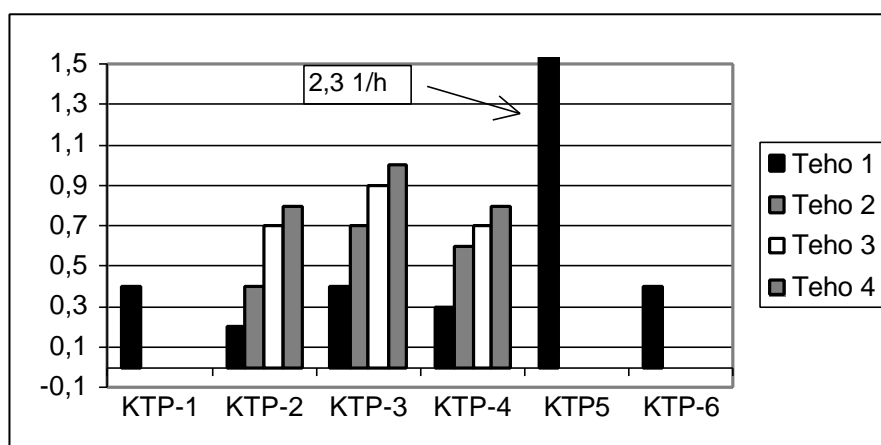
Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteiden kokonaispoistoilmamäärät ja ilmanvaihtokertoimet on esitetty liitteessä 3. Ilmamäärien ja ilmanvaihtokertoimien jakaumat on esitetty taulukoissa 16 ja 17.

Taulukko 16. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteiden kokonaisilmamäärien jakaumat

Tuloilma	Teho 1		Teho 2		Teho 3		Teho 4	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Lukumäärä	6	6	3	3	3	3	3	3
Minimi	31	9	50	14	72	20	112	31
Maksimi	203	57	156	43	254	71	278	77
Keskiarvo	96	27	103	29	163	45	195	54
Mediaani	75	21	103	29	163	45	195	54
Standardipoikkeama	75	21	75	21	129	36	117	33
Poistoilma	Teho 1		Teho 2		Teho 3		Teho 4	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Lukumäärä	6	6	3	3	3	3	3	3
Minimi	41	8	81	17	136	28	155	32
Maksimi	344	95	117	33	141	39	161	45
Keskiarvo	110	30	104	27	138	35	158	40
Mediaani	69	19	114	32	136	38	158	43
Standardipoikkeama	115	32	20	9	3	6	3	7

Taulukko 17. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteiden ilmanvaihtokertoimien jakaumat

Tuloilma	Teho 1	Teho 2	Teho 3	Teho 4
	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Lukumäärä	6	3	3	3
Minimi	0,2	0,4	0,7	0,8
Maksimi	2,3	0,7	0,9	1,0
Keskiarvo	0,7	0,6	0,8	0,9
Mediaani	0,4	0,6	0,7	0,8
Standardipoikkeama	0,8	0,1	0,1	0,1



Kuva 9. Koneellisen tulon ja poiston kohteiden ilmanvaihtokertoimet

Kohteessa KTP-1 ei tuloilmalaitteistojen korjaustoimenpiteiden keskeneräisyyden vuoksi voitu mitata tuloilmavirtoja. Kohteen alkuperäinen ongelma oli tupakan hajun kulkeutuminen sisätiloihin. Asunnon ilmanvaihtokerroin oli pieni. Huoneisto oli ainoa tämän raportin kohteista, jossa tuloilma tuli betonisen rakennekanavan kautta (kuva 10).



Kuva 10. Kohteen KTP-1 rakennekanavan pää

Huoneistokohtaisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kohteissa KTP-4 ja KTP-2 molemmissa ilmavirrat olivat epätasapainossa. Kohteessa KTP-4 huoneisto oli voimakkaasti alipaineinen.

Kohteessa KTP-2 asuntoon syntyi puolestaan merkittävä ylipaine. Huoneiston ilmanvaihtolaitteiston neliportaisen tehonsäädön alimmalla tehotasolla huoneiston ilmanvaihtokerroin oli alle 0,3 1/h. Asukas ilmoitti kuitenkin käyttävänsä pelkästään alinta tehoa sähkönsäästön nimissä. Pesuhuoneeseen sijoitetun ilmanvaihtolaitteiston etukansi oli vääntynyt alareunastaan, ja pesuhuoneen ilmaa pääsi raon kautta tuloilmakanavistoon.

Kohteessa KTP-5 liikehuoneiston viereinen hammaslääkärin vastaanotto oli erotettu rakennuksen yhteisestä ilmanvaihtojärjestelmästä, mutta yhteisjärjestelmään jääneiden tilojen ilmanvaihtoja ei oltu muutostöiden jälkeen tasa-painotettu uudestaan. Tämän johdosta tutkittujen tilojen poistoilmavirrat olivat

merkittävästi tuloilmavirtoja suuremmat. Tällöin osa korvausilmavirrasta tuli mm. ulko-ovessa olevan vanhan tuuletusaukon kautta.

5. Yhteenveto

5.1. Painovoimainen ilmanvaihto

Projektin suorituksen ajankohta ei ollut suotuisin mahdollinen painovoimaisen ilmanvaihdon asuntojen tutkimisen kannalta. Erittäin kuuma kesä esti painovoimaiselle järjestelmälle välttämättömän sisä- ja ulkotilojen välisen lämpötilaeron muodostumisen. Silti näidenkin olosuhteiden puitteissa joissakin painovoimaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä havaittiin selkeitä puutteita.

Tutkittujen painovoimaisen ilmanvaihdon asuntojen ongelmista suurin osa johtui rakentamisen jälkeen asuntoon tehdyistä korjaustoimenpiteistä. Kahdessa kohteessa yhdeksästä korvausilman saanti asuntoon oli estetty kokonaan. Kahdessa kohteessa järjestelmä oli muutettu osittain koneelliseksi, jolloin puhaltimien päälle kytkeminen muutti painovoimaiseksi jätetyt poistokanavistot tulokanaviksi. Yhdessä kohteessa oli remontin yhteydessä poistoilmaventtiilit peitetty täysin.

5.2. Koneellisen poistoilmajärjestelmä

Tässä tutkimuksessa oli eniten juuri koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteita. Eniten ongelmia koneellisen poistoilmajärjestelmän kohteissa havaittiin korvausilman järjestämisessä. Kuudessatoista kohteessa 31:stä korvausilmajärjestelyt eivät olleet riittävät, tai ne puuttuivat kokonaan. Joissakin kohteissa korvausilman saanti oli pyritty järjestämään ikkunarakenteisiin tehdyillä tiivistepoistoilla. Tällä menetelmällä on kuitenkin erittäin hankalaa saada korvausilman saanti hallituksi, sillä vähäisetkin poikkeamat optimista vaikuttavat suuresti lopputulokseen.

Pelkästään riittämättömän poistoilmajärjestelmän ilmamäärät todettiin ongelmien syyksi kahdessa kohteessa. Näissä kohteissa asuntoon oli asennettu alitehoiset poistoilmapuhaltimet. Viidessä kohteessa sisäilmaongelmat johtuivat samalla kertaa korvausilman ja poistoilmavirtojen puutteista.

Koneellisten poistoilmajärjestelmien erityispiirteenä on, että niitä yleensä pidetään vain osan aikaa täydellä teholla. Keskimääräisesti vähäisen tarpeen aikoina järjestelmät kytketään osateholle. Yleensä tätä osatehoa käytetään myös yöaikaan, vaikka silloin asukkaat viettävät eniten aikaa paikallaan yhdessä tilassa.

5.3. Huoneistokohtainen säätö koneellisessa poistossa

Huoneistokohtaisen säädön asunnoissa ei yleensä ollut järjestelmästä johtuvia ongelmia poistojärjestelmän tehokkuudessa. Joissakin tapauksissa asukkaat pyrkivät säästämään sähköä pitämällä ilmanvaihdon minimiteholla, toisissa kohteissa ilmanvaihdon suuremmat säätötehot olivat niin äänekkäitä, että niitä ei siitä syystä käytetty.

Kolmessa tutkituista huoneistokohtaisen säädön kohteista ongelmat johtuivat puutteellisesta korvausilman saannista. Kahdessa näistä asunnoista hallittua korvausilman saantia ei ollut järjestetty ollenkaan.

5.4. Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmä

Projektissa tutkituista koneellisen tulo- ja poistojärjestelmän kohteissa eniten ongelmia aiheutti tulo- ja poistojärjestelmien epätasapaino. Yhdessä kohteesta kuudesta tutkitusta asunto oli voimakkaasti alipaineinen, toisessa kohteesta puolestaan ylipaineinen. Yhdessä asunnossa tuloilma tuli betonisen rakennekanavan kautta, josta aikaa myöten irronnut materiaali aiheutti sisäilmaongelmia.

5.5. Ilmanvaihdon merkitys sisäilmaongelmissa

Tutkituista asunnoista seitsemässäkymmenessä prosentissa ilmanvaihdon puutteellinen toiminta oli osaltaan vaikuttamassa sisäilmaongelmien esiintymiseen.

Yhdeksästä tutkitusta painovoimaisen ilmanvaihdon asunnosta neljässä ei voitu todeta ilmanvaihdon vaikuttavan lainkaan asunnon sisäilmaongelmiin.

Koneellisen poistoilmajärjestelmän 31:stä tutkitusta asunnosta kuudessa ei voitu todeta ilmanvaihtojärjestelmällä olevan mitään vaikutusta todettuihin sisäilman ongelmiin. Näistä yhdessä kohteessa oli kyse aikaisemman sisäilmaongelman vuoksi tehtyjen ilmanvaihdon korjaustoimenpiteiden tehokkuuden toteamismittauksista.

Niissä kymmenessä tutkitussa koneellisen poiston asunnossa, joissa asukkaat saattoivat itse säätää ilmanvaihdon tasoa, viidessä todettiin ilmanvaihtojärjestelmien puutteellisen toteutuksen vaikuttaneen merkittävästi sisäilmaongelmien esiintymiseen.

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän kuudesta tutkitusta asunnosta neljässä todettiin ilmanvaihtojärjestelmän puutteiden olevan selkeästi sisäilmaongelmien taustalla.

Sisäilman ongelmat ovat monitahoinen ongelmakenttä, joten on vaikea arvioida tarkasti, miten monessa kohteessa ilmanvaihdon kohentaminen riittäisi

pelkästään ratkaisuksi. Tutkituissa kohteissa todetut ongelmat olivat kuitenkin suurimmaksi osaksi niin selkeitä, että niissä ilmanvaihdon parantamistoimenpiteiden vaikutus sisäilman laatuun olisi helposti todettavissa.

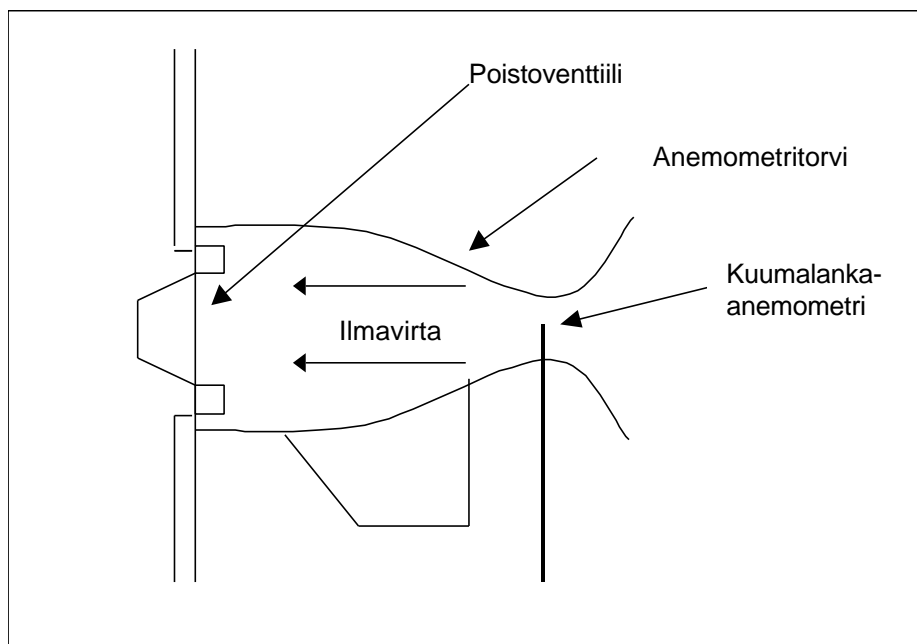
6. Projektin yhteydessä tutkittuja erilliskysymyksiä

6.1. Ilmanvaihdon mittausmenetelmien vertailua

Tämän projektin yhteydessä vertailtiin kahden ilmanvaihdon mittausjärjestelmän käytettävyyttä asunnontarkastajien kenttätyöskentelyssä. Tähän asti poistoilmanvaihdon ilmamäärät on mitattu anemometritorvella SFS 5512-standardin mukaisesti. Projektissa tutkittiin poistoilmaventtiilistä tehtävään paine-eromenetelmään perustuvan tilavuusvirtamittauksen käytettävyyttä kenttämittauksiin.

6.1.1. Mittaus anemometritorven avulla

Yleisimmin käytetty ilmanvaihdon mittausmenetelmä perustuu passiivisen anemometritorven käyttöön. Siinä anemometritorvi asetetaan tiiviisti poistoilmaventtiilin suulle (kuva 11). Torven kurkussa kuumalanka-anemometri mittaa läpimenevän ilmavirran nopeutta. Lopullinen tilavuusvirta saadaan torvityypille määritetystä käyrästä.



Kuva 11. Anemometritorvimittauksen suorittaminen poistoilmaventtiilistä

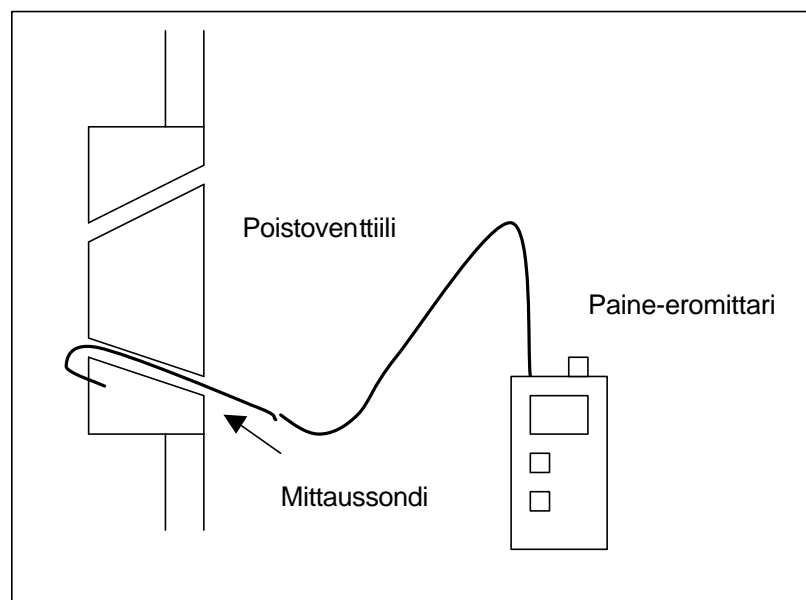
Hyvissä olosuhteissa anemometritorvimittaus on helppo suorittaa kentällä. Koska mitta-arvo on suoraan riippuvainen ilmavirran nopeudesta, mitatuista arvoista voidaan jo paikan päällä nähdä helposti poistoilmavirran suurusluokka. Helsingin kaupungin Ympäristökeskuksen asunnontarkastusryhmän käytössä olevat anemometritorvet eivät sovellu tuloilmavirtojen mittaamiseen, sillä tätä tarvetta varten torvessa pitäisi olla erityinen ilmavirtauksen ta-sausosa (Sirén 1995).

Anemometrillä tehtävää mittausta rajoittaa myös poistoilmaventtiilien asettelu asunnossa. Mikäli anemometritorvea ei saa asetettua tiiviisti venttiilin suulle, menetelmän mittaustarkkuus kärsii merkittävästi. Irrallisen anturipään asettaminen anturitorveen aiheuttaa myös omat virhelähteensä. Mittapään kuuma-lanka-anturi on asetettava tarkasti torven kurkun keskipisteeseen.

SFS-5512 -standardin mukaan anemometrillä tehtävän poistoilmavirtamitta-uksen menetelmävirhe on vähintäänkin $\pm 5\%$. Ilmastointiteknikan mittaukset-kirjan (Sirén 1995) mukaan tämä tarkkuus saavutetaan vain optimiolosuhteis-sa todellisen virheen ollessa suurempi.

6.1.2. Paine-eromenetelmä

Paine-eromenetelmään perustuvassa ilmavirtamittauksessa mitataan paine-eroa venttiilin ylitse (kuva 12). Kun venttiilin aiheuttama painehäviökäyrä on tiedossa, sen perusteella voidaan laskea venttiilin läpimenevä ilman tilavuus-virta venttiilin valmistajan ilmoittaman venttiilityyppikohtaisen kaavan avulla.



Kuva 12. Paine-eromittauksen tekeminen poistoilmaventtiilistä

Paine-eromenetelmä on anemometrimenetelmään verrattuna jonkin verran työläämpi. Lopullisen ilmamäärän suurusluokkaa ei näe helposti alkuperäi-

sestä mittaustuloksesta, sillä se riippuu venttiilin avausasteesta ja eri venttiili-tyypeille ominaisesta paine-erokäyrästä. Menetelmää käytettäessä on myös oltava hyvin huolellinen mitattavan venttiilityypin tunnistamisessa, sillä eri valmistajien hyvin samankaltaisilla venttiileillä saattaa olla hyvin erilaiset painehäviöominaisuudet.

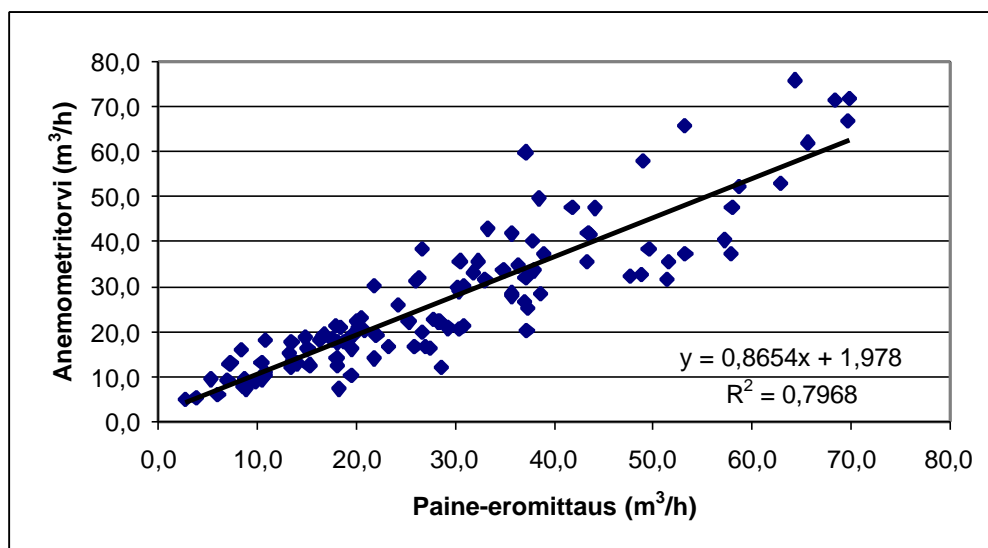
Paine-eromenetelmän sondi on pienikokoisena helppo asettaa ilmanvaihto-venttiiliin, eikä venttiilin edessä tarvitse yhtä paljon tyhjää tilaa kuin anemometritorvea käytettäessä. Paine-eron avulla voidaan mitata myös tuloilman arvoja, mikäli venttiilin painehäviökäyrä on tiedossa.

Venttiilien painehäviökäyrät on määritetty puhtaille ja ehjille venttiileille. Liikaantuneet tai vahingoittuneet päätelaitteet lisäävät paine-eromenetelmän virhettä.

SFS-5512- standardin mukaan menetelmävirhe paine-eron avulla tapahtuvalle ilman tilavuusvirran mittaukselle on 5%.

6.1.3. Mittausten keskinäinen vastaavuus

Tässä projektissa tehtiin 111 poistoilmanvaihdon mittausta siten, että saman venttiilin arvot mitattiin sekä paine-ero- että anemometritorvimenetelmällä. Koko mittausaineistoa käytettäessä menetelmien riippuvuus toisistaan oli kuvan 13 mukainen.



Kuva 13. Mittausmenetelmien keskinäinen vastaavuus

Kaavioon piirretty trendiviiva on laskettu regressioanalyysin avulla. Regressioanalyysin korrelaatiokertoimen neliö (R^2) kertoo, että eri menetelmillä tehdyissä rinnakkaisissa mittauksissa toisen menetelmän antamien tulosten avulla voidaan selittää noin 80 prosenttia toisen menetelmän tulosten hajonnasta. Tätä voidaan menetelmävirheiden suuruusluokka tuntien pitää hyvänä tuloksena. (Karjalainen ja Ruuskanen 1992)

6.1.4. Menetelmien käytettävyys

Anemometrin avulla tehtävä ilman tilavuusvirtauksen mittaus on helppo suorittaa, ja tulos on yleensä asunnontarkastajan tarpeisiin riittävän tarkka. Joissakin tapauksissa anemometritorvella ei ole mahdollista mitata, kuten esimerkiksi poistoilmaventtiilin ollessa erityisen vaikeasti tavoitettavissa. Tällaisiin tapauksiin paine-eromittaukseen perustuvat menetelmä soveltuu hyvin. Tällöinkin on oltava huolellinen pääte-elimien tunnistamisessa. Ennen 1970-lukua rakennettujen ilmanvaihtojärjestelmien venttiilien paine-erokäyriä ei yleensä ole käytettävissä. Lisäksi eri valmistajien venttiilit saattavat muistuttaa toisiaan huomattavan paljon, vaikka niiden virtaustekniset ominaisuudet ovatkin hyvin erilaisia.

Lähteet

Karjalainen, L., Ruuskanen, A. 1992. Tilastomatematiikka, 175 sivua, Pii-kirjat. ISBN 951-95832-2-X.

Korkala, T., Karvonen, M-L. 1987. Painovoimaisen ilmanvaihdon toiminta-edellytykset. Raportti C:36. 163 s. Teknillinen korkeakoulu, LVI-tekniikan laboratorio. Sisäilmastoprojekti.

Kurnitski, J., Jokiranta, K., Matilainen, M. 1999. Koneellisen Poistoilmanvaihdon parantaminen. Raportti B65. 75 sivua. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio.

Luoma, M., Siitonen, V. 1989. Ulkoilman sisäänotto koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Tiedote 971. 65 s. Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Palonen, J., Virtanen, V., Seppänen, O. 2000, Asuntoilmanvaihdon kehitys- ja tutkimustarpeet, Asuntoilmanvaihtojärjestelmien koerakentaminen ja tutkimustoiminta Suomessa 1980- ja 1990-luvuilla. Raportti B67. 77 s. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio.

Sirén, K., 1995, Ilmastointitekniikan mittaukset, 269 s., Tietonova Oy, ISBN 951-22-2421-6.

Sosiaali- ja Terveysministeriö. 1997. Sisäilmaohje. Sosiaali- ja Terveysministeriön oppaita 1997:1. 71 s. (1.5.2003 ilmestynyt Asumisterveysohje, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003:1, korvaa vuonna 1997 julkaistun Sisäilmaohjeen)

Suomen Standardisoimisliitto. 1989. Ilmastointi, ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. SFS-standardi 5512.

Teknillinen korkeakoulu, LVI-laboratorio. 1986: Rakennuksen sisäilmaston laatu ja ilmanvaihdon tarve. 239 s. Kauppa- ja Teollisuusministeriö, Energiaosasto.

Ympäristöministeriö. 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja Ilmanvaihto. 21 s.

Liite 1.

Koneellisen poiston kohteiden kokonaisilmamäärät

	Osateho		Kokoteho	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
KP-1	124	35	-	-
KP-2	86	24	166	46
KP-3	45	12	71	20
KP-4	40	11	-	-
KP-5	46	13	-	-
KP-6	44	12	89	25
KP-7	47	13	79	22
KP-8	96	27	176	49
KP-9	56	16	95	26
KP-10	44	12	79	22
KP-11	49	13	-	-
KP-12	164	46	-	-
KP-13	59	16	113	32
KP-14	33	9	68	19
KP-15	34	9	50	14
KP-16	38	11	75	21
KP-17	36	10	61	17
KP-18	126	35	279	77
KP-19	72	20	147	41
KP-20	49	14	88	24
KP-21	54	15	100	28
KP-22	65	18	134	37
KP-23	5	146	-	-
KP-24	94	26	-	-
KP-25	5	1	-	-
KP-26	63	13	132	29
KP-27	59	16	106	30
KP-28	67	19	117	32
KP-29	44	12	84	23
KP-30	74	20	104	29
KP-31	111	31	160	45

Liite 2.

Kokonaispoistoilmamäärät ja ilmanvaihtokertoimet koneellisen poiston kohteissa, joissa oli huoneistokohtainen tehonsäätö

Kokonaispoistomäärä	Teho 1		Teho 2		Teho 3		Teho 4	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
HS-1	54	10	84	16	136	25	172	32
HS-2	60	17	92	26	132	37	155	43
HS-3	47	11	123	23	238	43	-	-
HS-4	100	28	131	36	177	49	-	-
HS-5	94	26	182	51	257	71	-	-
HS-6	19	5	59	16	185	51	221	61

	Osateho tehostamaton		Osateho tehostettu		Kokoteho tehostamaton		Kokoteho tehostettu	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
HS-7	86	24	115	32	105	29	134	37
HS-8	104	29	125	35	-	-	-	-
HS-9	80	22	101	28	83	22	107	28
HS-10	89	25	124	34	108	30	142	40

Ilmanvaihtokerroin	Teho 1	Teho 2	Teho 3	Teho 4
	1/h	1/h	1/h	1/h
HS-1	0,3	0,4	0,7	0,9
HS-2	0,3	0,5	0,8	0,9
HS-3	0,1	0,4	0,7	-
HS-4	0,8	1,1	1,5	-
HS-5	0,3	0,6	0,9	-
HS-6	0,1	0,3	0,8	1,0

	Osateho tehostamaton	Osateho tehostettu	Kokoteho tehostamaton	Kokoteho tehostettu
	1/h	1/h	1/h	1/h
HS-7	0,6	0,7	0,7	0,9
HS-8	0,6	0,8	-	-
HS-9	0,5	0,6	0,5	0,7
HS-10	0,5	0,8	0,7	0,9

LIITE 3.**Koneellisen tulon ja poiston kohteiden kokonaisilmamäärät ja ilmanvaihtokertoimet**

Koneellisen tulon ja poiston järjestelmien kokonaisilmanvaihtomäärät

		Teho 1		Teho 2		Teho 3		Teho 4	
		m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
KTP-1	poisto	68	19	114	32	136	38	155	43
	tulo	31	9	50	14	72	20	112	31
KTP-2	poisto	73	20	117	33	141	39	161	45
	tulo	-	-	-	-	-	-	-	-
KTP-3	poisto	41	8	81	17	136	28	158	32
	tulo	87	24	156	43	254	71	278	77
KTP-4	poisto	344	95						
	tulo	203	57						
KTP-5	poisto	65	18						
	tulo	63	18						
KTP-6	poisto	70	19						
	tulo	-	-						

Koneellisen tulon ja poiston järjestelmien ilmanvaihtokertoimet

	Teho 1 (1/h)	Teho 2 (1/h)	Teho 3 (1/h)	Teho 4 (1/h)
KTP-1	0,3	0,6	0,7	0,8
KTP-2	0,4	0,7	0,9	1,0
KTP-3	0,2	0,4	0,7	0,8
KTP-4	2,3			
KTP-5	0,4			
KTP-6	0,4			